

大麻污染物：溶剂、微生物以及金属的监管

Nate Seltenerich

<https://doi.org/10.1289/EHP5785-zh>

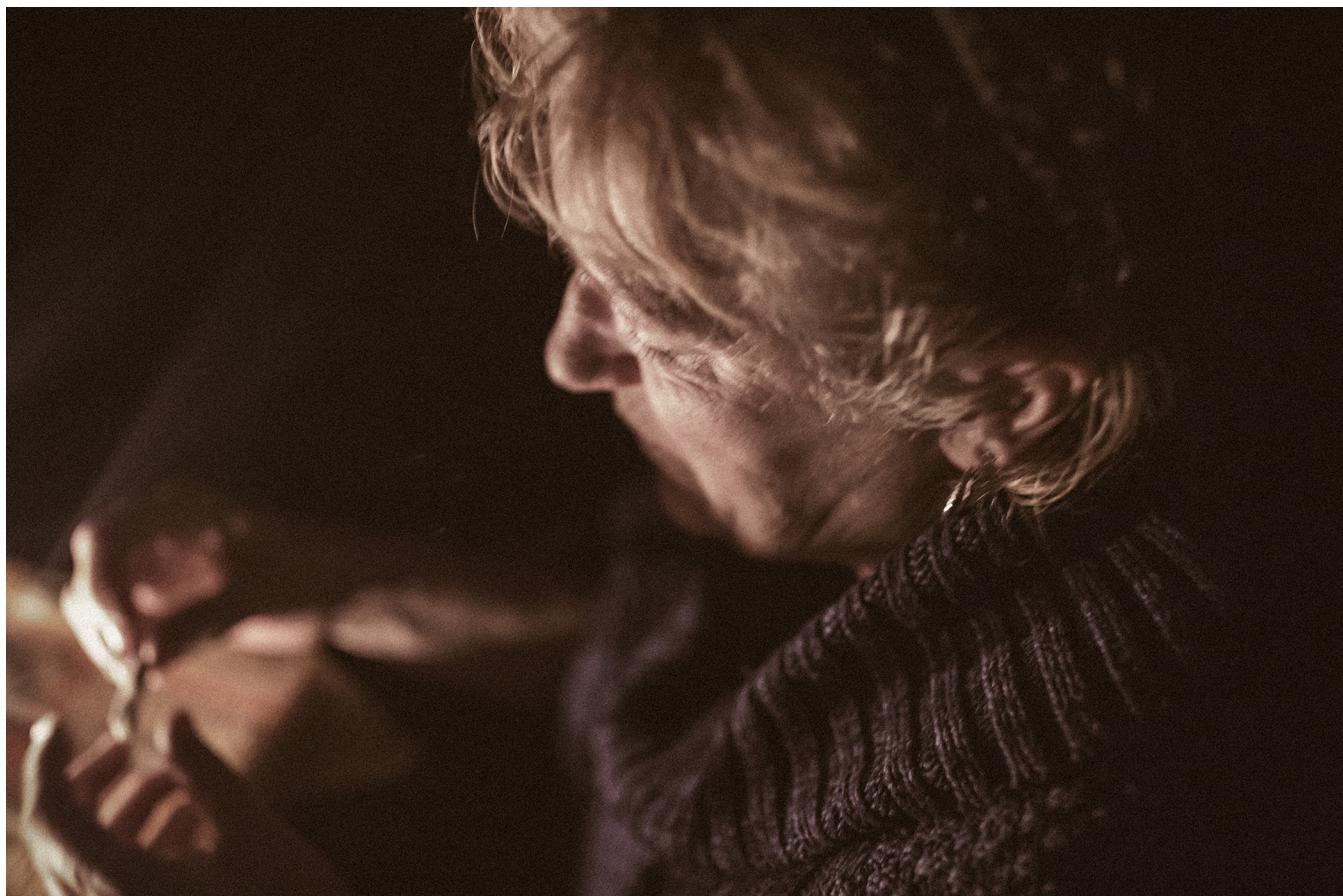
2019年6月，包括哥伦比亚特区，伊利诺斯州成为美国第11个将娱乐销售或药用合法的州。¹更多地区批准了医用大麻。²自2014年以来，税务人员、企业家和执法人员都在密切关注在美国全面铺开的大麻合法化。

环境健康专家也同样关注这一事态。因为从大麻提取的产品会给使用者带来许多污染物，包括杀虫剂、霉菌、细菌、金属和溶剂。^{3,4}虽然在我们的食物、水和空气中也发现了许多这些污染物，但人们对使用大麻产生的潜在暴露和健康后果不甚了解。

《环境与健康展望》（*Environmental Health Perspectives*）此前曾报道了对大麻杀虫剂的管制，包括难以设定具体的残留限值。⁵而溶剂残留物、微生物和重金属也都对监管构成挑战。

监管大麻产品的质量和安全远非易事。这些产品有许多形态和输注方式，可以吸入或摄入，包括用于吸烟或汽化的传统熏制“花”；一系列浓缩物、油和酊剂；还有各种各样的食物和饮料。更为复杂的是，这种植物兼具消遣性和药用双重功能，被用于治疗多种疾病。⁶大麻使用者不仅包括健康的成年人，还包括更敏感或更脆弱的人群，包括儿童以及癌症或艾滋病患者。

在美国联邦层面上，大麻仍然被视为非法药物。⁷因此，美国食品药品监管局(FDA)和美国环境保护署(EPA)都没有就如何监管污染物或哪些与大麻相关的暴露可被视为安全提供任何指导。各州不得不自行决定如何保护数以百万计⁸的大麻使用者，他们的对策也大相径庭。其结果是一个不确定的、有时候是不连贯的监管环境。



2017年，美国国家科学院、工程院和医学院的委员会得出结论，有“确凿或大量”的证据表明，大麻或大麻素可能有助于治疗慢性疼痛、化疗引起的恶心以及多发性硬化症相关的痉挛。⁶对于大麻治疗的许多其他病症来说，证据并不那么清晰，部分原因是大麻的非法状况使得研究难以进行。Image: © iStockphoto/Instants.

“各州成了大麻行业征税和控制的专家，而对公共健康和安全通常是次要的甚至是暂缓考虑的。”位于科罗拉多州的全国性组织大麻认证委员会 (Cannabis Certification Council) 董事会主席 Ben Gelt 表示，“我认为，在某种程度上，这种情况正在发生变化。我想这些问题将不可避免地出现。”

化学溶剂

化学溶剂用于从大麻花中提取有价值的治疗和精神活性化合物，包括大麻素，如四氢大麻酚 (THC) 和大麻二酚 (CBD)，以及萜烯，如柠檬烯和蒎烯。这种高度浓缩的油性或蜡质萃取物可以被加热，直接吸入或注入食物、饮料和其他产品中。⁹

大麻提取物已被证明是合法市场不可或缺的一部分。市场研究公司BDS Analytics最近的一份报告显示，可吸入浓

缩产品是全国合法市场中增长最快的部分。它们不仅超过了花卉，而且超过了食品(其本身含有浓缩形式的植物)。2018年，它们在总销售额中所占比例超过四分之一，而2014年这一比例仅为10%。^{10,11}而从环境健康的角度来看，它们也代表了一种潜在的风险，因为用于制造大麻提取物的溶剂可能会残留在最终产品中。¹²

在许多方面，溶剂是监管机构最容易处理的大麻污染物。这是因为许多州借鉴了美国药典 (USP) 制定的指南。¹³ USP 是一个独立于联邦政府的非营利性组织。

这些指南将 59 种可用于制造草药和其他药物产品的溶剂分为3类：应避免使用的溶剂、应限制使用的溶剂以及比清单上其他溶剂更安全的溶剂，因为现有数据表明它们“在急性或短期研究中毒性较小，在遗传毒性研究中为阴性。”¹³ (USP 知道许多“毒性较小”类别的溶剂缺乏长期毒性和致癌性研究。¹³)



设计用于加热和吸入的浓缩物，如碎粒(上图)和蜡(下图)是用溶剂制备的。其中一些溶剂，包括丁烷和丙烷，可以存留在成品中。Images: top © iStockphoto/HighGradeRoots, bottom © iStockphoto/rgbspace.

对于这59种溶剂的每一种，USP建议设定一个特定的浓度，最终产品中的残留物浓度低于特定的浓度就可以被认为是安全的。许多州在制定自己的法规和检测标准时直接取消了这些限制。

不过，USP的指南至少有一个明显的遗漏：它们没有包括丁烷和丙烷。这些石油衍生的溶剂通常不用于加工草药和其他药品。但在2010年代初开始在非法大麻产业中很受欢迎——部分原因是它们易于购买和使用¹⁴——后来又归入了合法市场。

这两种提取大麻素和萜烯的方法都很有效，但必须从最终产品中清除溶剂，以免留下潜在的有害残留物。¹⁵ 尽管丁烷更难净化，但它在合法和非法市场上都更常见，因为它更便宜。它能根据质地和稠度，生产出蜡、碎粒、面糊和芽等知名提取物，加热到雾化或燃烧的程度，然后直接吸入。

由于USP指南没有涉及到丁烷和丙烷，各州的监管机构只能自行设置。这导致了各合法州对溶剂容许的残留量范围非常大。

加州大麻管理局（Bureau of Cannabis Control California）已将最终产品中¹⁶两种溶剂的残留量限制在5000 ppm，这与USP在其26种“毒性较低”溶剂清单中的限量相同。马萨诸塞州的浓度上限仅为12 ppm。¹⁷ 科罗拉多州的大麻执法部门最初将其浓度限值设定在800 ppm，几年后¹⁸将其提高到5000 ppm，并在2018年确定为1000 ppm。^{19,20}

“各州都选择制定自己的限值，五花八门。”马萨诸塞州大麻和大麻检测实验室ProVerde Laboratories的创始人Chris Hudalla说，“碳氢化合物残留物的容许量存在巨大差异。”

超临界二氧化碳萃取是一种更安全的提取浓缩物的方法，但这种方法也更难和更昂贵。它使用流体形式的二氧化碳作为溶剂，利用先进的机器来控制温度和压力，植物、营养药品、啤酒花和大麻的加工者可以针对植物材料的不同成分进行分离并从混合物中去除。²¹ 压力释放后，超临界二氧化碳变成气体，从固体或油萃取物中消失，因此不会对消费者造成健康风险。

微生物污染

州认证的实验室通常使用一种叫做气相色谱的技术来测定残留溶剂——至少他们在这点上是一致的。¹³ 而对微生物污染，却没有这样的共识。最重要的是，各州在哪些微生物污染物首先需要监测或哪些污染物构成健康风险方面没有达成共识。

大麻植物和产品在生长过程中(特别是在室外或不卫生的室内环境中)或在随后的处理和加工过程中会染上霉菌或细菌。²² 大多数霉菌相对无害，在环境中普遍存在，但有

些霉菌吸入后可能对健康构成威胁，特别是对一些免疫功能低下的人，比如那些医用大麻使用者。²³

例如：曲霉菌(*Aspergillus*)。该属包括约180种霉菌，其中许多在室内和室外环境中非常常见；大多数人每天都在吸入曲霉孢子。即使在免疫系统较弱的个体中，已知能够引起感染的曲霉菌不到40种。²³ 其中只有4种——烟曲霉、黄曲霉、黑曲霉和土曲霉——由于它们与大麻的联系和潜在的健康影响，目前已经被挑出来用于大麻测试。²²

尽管致病性曲霉孢子可能可以在燃烧的高温下存活，但一些州认为危害的风险已经足够低，因此不需要对其进行检测。“这种霉菌在环境中非常常见，人们可以通过许多不同的方式受到感染，”一份2015年详细介绍俄勒冈州大麻污染检测建议的报告中写道。²⁴ “对大多数人而言，检测结果呈阳性并不意味着该产品的大部分用途是不安全的。”

俄勒冈州的报告建议，州卫生部门不需要对这4种菌株进行检测，而是要求产品标签上要对免疫系统脆弱的人发出风险警告。最后，州政府选择不这么做。俄勒冈州目前依靠一种名为“水活性”的测量方法来监测固化花上的霉菌和其他微生物污染物。²⁵ 这一方法也用于食品加工，反映了微生物所需的水量。水活性低于一定阈值的样本被认为干燥已达到微生物无法繁殖的程度，因此是安全的。

俄勒冈州的政策有某些部分与独立的大麻安全研究所2015年发表的微生物检测白皮书的建议不一致。²² 白皮书的结论是，尽管水活性是一个有用的指标，但这4种曲霉菌对免疫系统有缺陷的个体健康风险尤其显著。因此，应该对这4种霉菌进行独立的筛选，任何呈阳性的样本都应该被拒绝。

加州监管机构似乎已将这一信息牢记于心。¹⁶ 他们的实验室有3种不同的曲霉菌检测方法：全属活体培养、²⁶ 聚合酶链反应(PCR)，一种寻找目标菌株DNA的基因组测试，以及最新的方法——定量PCR，不仅可以检测而且可以量化霉菌孢子和细胞碎片。

加州并没有规定应该使用哪种方法，加州大麻管制局发言人Aaron Francis说道——最终的结果是检测结果更加不确定。这是因为这些方法之间的差异并不纯粹是学术上的。虽然基于PCR的基因组方法速度更快、精度更高，但也存在一些缺陷。

最重要的是，美国草药药典(American Herbal Pharmacopoeia, AHP)主席兼2013年大麻专辑²⁷的主编Roy Upton说道，分子技术也许并不总是能区分活的和死的微生物，因此可能检测出无法存活的病原体。标准平板仍然是一个广泛应用于微生物检测的可靠技术。

然而，这种经过时间考验的产生的平板计数方法有它自身的致命弱点：在培养中不可能只培育目标物种。相反，一个训练有素的真菌学家必须能够用眼睛在可能存在的许多其他物种中识别出它们。



尽管致病孢子可能可以经受住燃烧，但一些州认为霉菌是一种低风险污染物。然而，即使在由于霉菌而拒绝使用大麻花的地方，发霉的芽仍然可以用来生产浓缩物。Image: Courtesy American Herbal Pharmacopoeia.

这正是大麻行业的所做的工作，大麻检测实验室 SC 实验室（SC Labs）的总裁 Josh Wurzer 说道，该实验室同时为加州和俄勒冈州提供服务，他们已转为使用基因组方法检测微生物污染物。“20年前你必须使用培养菌的方法来识别和计算特定的物种。我猜一些实验室可能[仍然]在这样做，”Wurzer说。“其缺点是对目标物种的错误识别，导致[测试结果]假阳性或假阴性。”

与俄勒冈州一样，马萨诸塞州也不要求对曲霉菌进行任何特定的检测。但该州的大麻控制委员会（Cannabis Control Commission）并没有依赖水活性作为替代微生物污染的指标，而是采用了第三种方法：使用传统的平板培养法检测酵母和霉菌的总数。¹⁷ ProVerde 实验室的 Hudalla 承认，这种方法不能从潜在的威胁中区分无害的微生物，并可能导致十分安全的大麻花被拒绝。但他也认为，未能通过检测的花可以通过提取来补救，然后以浓缩的形式转售——因为总酵母和霉菌数量涵盖了更广泛的潜在有害微生物，它们也更能保护公众健康。

在微生物检测方面，曲霉菌并不是唯一的争论点。各州在寻找致病菌沙门氏菌和大肠杆菌以及真菌毒素的重要性上也存在分歧²⁸——由某些霉菌（包括曲霉菌）的孢子产生的

有毒和致癌化合物，这些霉菌的测试成本很高，而且很少检测到。大麻咨询小组顾问、分析化学家协会（Association of Official Analytical Chemists, AOAC）工作组的主席 Susan Audino 说道。AOAC 和 AHP 目前都在致力于澄清大麻微生物污染的问题。他们正寻求开发新的标准和最佳实施，以帮助指导监管机构和行业采用更具凝聚力的、以经验为依据的以及以科学为基础的方法。

实现这一目标需要时间，对该行业的许多人来说这不会很快实现，Audino说。“我们现在面临的挑战是，我们正在努力满足利益相关者的需求。”与此同时，她补充道，“我认为重要的是强调基于科学来制定法规的必要性，而不是基于仪器的能力。”

金属

金属是大麻监管机构必须应对的最后一类污染物。大麻植物被称为超富集植物；随着生长，它可以通过根部从土壤或生长介质中吸收异常高水平的金属，并可能进入到它的花中。³ 植物还可能通过喷洒肥料而受到污染，如果用于混合肥料的产品或水含有微量金属元素，即使是那些经过认证的有机肥料，总部位于加州的大麻园艺协会（Cannabis



大麻是一种超富集植物，这意味着它比其他作物能从土壤中吸收更多的金属。金属可以自然存在于土壤中，也可以来自工业来源。在有农耕历史的地区，残留的污染物可能来自长期喷洒含有铅、汞、镉和其他潜在有毒金属的杀虫剂。²⁹ Image: © Bettmann/Contributor.

Horticultural Association) 会长 Russell Pace 如此说道。尽管这种喷洒很可能发生在花形成之前，并在之后收获，Pace 说，“如果[化肥]施用到植物表面，植物直接吸收[这种金属]的可能性更大，而且可以储存在花中。”

植物中的金属也可以被携带并浓缩在萃取物中，³⁰ 这取决于所用的提取方法，因此任何大麻产品都可能受到污染，从熏制的花到可吸入的浓缩物再到食用产品。从某种意义上说，解决方案很简单：测试产品中重金属的含量，就像测试农药、溶剂残留和微生物一样。

但到目前为止，我们知道管理大麻污染物大多不是如此简单。即使大麻合法的州一致要求所有大麻产品都要进行重金属检测，仍然会错过另一个潜在的重要暴露源：批量检测无法筛查与手持大麻汽化器操作相关联的暴露。

这些设备，有时被称为电子水烟笔，使用金属线圈或由小电池供电的陶瓷元件，在吸入前加热和雾化液体或固体大麻浓缩物。它们在合法市场上非常受欢迎，因为它们容易获得、不引人注意且易于使用。但是，如果以电子烟作为范本的话——设计和操作都相类似地将含有尼古丁的液体雾化——电子水烟笔也能从加热线圈和其他部件中释放金属。

约翰·霍普金斯大学环境健康与工程学助理教授 Ana Rule 对电子烟和其他电子汽化器的金属排放进行了研究。^{31,32} 她说，她从未研究过专门用于大麻浓缩物和预充暗盒的汽化器。但是有些设备是双重用途的，不管怎样，可以根据这些设备的共同元素和原理作出某些假设。

“我们可以肯定地说，不管你往里面放什么，如果有金属线圈，即使它释放的金属浓度较低，也会有金属。”她说。“不管你放的是什么味道，不管有没有尼古丁，线圈都会浸出金属。”

此外，Rule 说，电子烟和大麻汽化器中的其他金属成分，包括各种电线和接头，在加热时可能会释放出颗粒物。“并不是所有的浓度都能用金属线圈来解释，”她指出。“理论上，这个线圈没有任何铅。理论上，它不含锌。[但在我们的研究中]发现有锌、铅和锡，所以我们认为它们来自蒸汽装置的其他部分。”

根据她的团队最近一项研究的结果推断，该研究评估了汽化器功率水平对金属排放的影响。他们预测，典型的电子烟使用者从某些电子烟中吸入的锰和镍，³² 可能会超过长期最低风险水平。³³

SC实验室联合创始人、客户关系主管 Alec Dixon 表示，还有另一个潜在的金属暴露源，监管和测试制度可能会忽略：暗盒本身。试验表明，铅可以从焊料和暗盒组件中渗透到液体。³⁴

尽管世界卫生组织³⁵认为任何浓度的铅都是不安全的，但加州大麻管理局仍然允许花卉和其他大麻成品中有浓度低于 500 ppb 的铅含量。¹⁶据 Dixon 说，送到他实验室的预充暗盒中，约有1%的暗盒没有达到这一限值。而至少有 50% 的提取液中可以检测到的一定水平的铅。

根据他自己的测试，Dixon 认为这种污染不是全有或全无的一次性事件。相反，他认为这种污染情况在预充暗盒中会逐渐地发生，它有时可以在药房的货架上和消费者家中放置数月。“我们所看到的是，随着时间的推移这种浸出效应正在发生，”他说。“因此，萃取物在暗盒中的时间越长，随着时间的推移，浸出的可能性就越大。”

尽管如此，Wurzer 对州监管机构要求大麻产品进行最终形式的金属检测表示赞赏，这能让人们发现暗盒可能是铅污染的潜在来源。加州在销售前最多测试 3% 的暗盒，这取决于制造商批量的大小。³⁶与相邻的俄勒冈州相比，这是一个巨大的飞跃，俄勒冈州完全不检测大麻的金属含量。²⁵

“没有哪个州的做法是绝对正确的，还有很长的路要走，还有很多的研究要做。”大麻认证委员会的Gelt总结道，他发起的“我的大麻里有什么”(#whatsinmyweed)的社交媒体运动旨在提高消费者对大麻污染物的意识。“在检测和确保产品质量和质量保证方面，所有州的政策都存在很大差距。这取决于你在哪个州，差距在哪里。”

Nate Seltenrich，居住在旧金山湾区，撰写科学与环境方面的文章。他的文章涵盖能源、生态和环境健康，发表在地区、国家和国际刊物上。

References

1. Stracqualursi V. 2019. Illinois becomes the 11th state to legalize recreational marijuana. CNN, Politics section, 25 June 2019. <https://www.m.cnn.com/2019/06/25/politics/illinois-legal-marijuana/index.html> [accessed 29 July 2019].
2. National Conference of State Legislatures. 2019. State Medical Marijuana Laws. <http://www.ncsl.org/research/health/state-medical-marijuana-laws.aspx> [accessed 29 July 2019].
3. McPartland JM, McKernan KJ. 2017. Chapter 22: Contaminants of concern in cannabis: microbes, heavy metals and pesticides. In: *Cannabis sativa L.—Botany and Biotechnology*. Chandra S, Lata H, ElSohly MA, eds. Cham, Switzerland: Springer, 457–474.
4. Dryburgh LM, Bolan NS, Grof CPL, Galettis P, Schneider J, Lucas CJ, et al. 2018. Cannabis contaminants: sources, distribution, human toxicity and pharmacologic effects. Br J Clin Pharmacol 84(11):2468–2476, PMID: 29953631, <https://doi.org/10.1111/bcp.13695>.
5. Seltenrich N. 2019. Into the weeds: regulating pesticides in cannabis. Environ Health Perspect 127(4):42001, PMID: 31021196, <https://doi.org/10.1289/EHP5265>.
6. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2017. The Health Effects of Cannabis and Cannabinoids: The Current State of Evidence and Recommendations for Research. Washington, DC: National Academies Press. <https://www.nap.edu/catalog/24625/the-health-effects-of-cannabis-and-cannabinoids-the-current-state> [accessed 29 July 2019].
7. U.S. Drug Enforcement Agency. 2019. Drug Scheduling. <https://www.dea.gov/drug-scheduling> [accessed 29 July 2019].
8. Carroll L. 2018. One in seven U.S. adults used marijuana in 2017. Reuters, 27 August 2018. <https://www.reuters.com/article/us-health-marijuana-us-adults-one-in-seven-us-adults-used-marijuana-in-2017-idUSKCN1LC2B7> [accessed 29 July 2019].
9. Gonzalez R. 2018. Shatter, batter, wax: how cannabis extracts come to be. Wired, Science section, 22 March 2018. <https://www.wired.com/story/shatter-batter-wax-how-cannabis-extracts-come-to-be/> [accessed 29 July 2019].
10. Sandy E, Schiller M. 2018. Cannabis concentrate sales are growing, but consolidation is coming. Cannabis Business Times, 19 September 2018. <https://www.cannabisbusinesstimes.com/article/bds-arcview-report-concentrates-sales-market-growth/> [accessed 29 July 2019].
11. Hasse J. 2018. Report: sales of cannabis concentrates expected to triple to \$8.5B by 2022. Green Entrepreneur, 4 October 2018. <https://www.greeneentrepreneur.com/article/321016> [accessed 29 July 2019].
12. Russo EB. 2016. Current therapeutic cannabis controversies and clinical trial design issues. Front Pharmacol 7:309, PMID: 27683558, <https://doi.org/10.3389/fphar.2016.00309>.
13. U.S. Pharmacopeial Convention. Herbal Medicines Compendium. General Chapter 467, Residual Solvents. <https://hmc.usp.org/sites/default/files/documents/HMC/GCs-Pdfs/c467.pdf> [accessed 29 July 2019].
14. Komp E. 2014. Why BHO? Seven possible reasons for the butane craze. CANORML Blog, 7 February 2014. <https://www.canorml.org/why-bho-seven-possible-reasons-for-the-butane-craze/> [accessed 29 July 2019].
15. National Library of Medicine. 2014. n-Butane. <https://toxnet.nlm.nih.gov> [accessed 29 July 2019].
16. California State Government. California Code of Regulations. Title 16. Division 42. Bureau of Cannabis Control. <https://cannabis.ca.gov/wp-content/uploads/sites/13/2019/01/Order-of-Adoption-Clean-Version-of-Text.pdf> [accessed 29 July 2019].
17. Cannabis Control Commission. 2017. Protocol for Sampling and Analysis of Finished Medical Marijuana Products and Marijuana-Infused Products for Massachusetts Registered Medical Marijuana Dispensaries. Commonwealth of Massachusetts: Cannabis Control Commission. <https://www.mass.gov/doc/protocol-for-sampling-and-analysis-of-finished-medical-marijuana-products-and-marijuana-1/download> [accessed 29 July 2019].
18. Adlin B. 2016. Leafly investigation: how much butane in BHO is too much? Leafly.com, 12 December 2016. <https://www.leafly.com/news/industry/butane-residual-solvent-limits-bho-cannabis-concentrates> [accessed 29 July 2019].
19. Colorado Department of Revenue, Marijuana Enforcement Division. 2019. Medical Marijuana Rules. 1 CCR 212-1. <https://www.colorado.gov/pacific/sites/default/files/1%20CCR%202012-1%20Correct%20Med%20Rules%20Effective%2001012019.pdf> [accessed 29 July 2019].
20. Colorado Department of Revenue, Marijuana Enforcement Division. 2019. Retail Marijuana Rules. 1 CCR 212-2. <https://www.colorado.gov/pacific/sites/default/files/1%20CCR%202012-2%2001012019.pdf> [accessed 29 July 2019].
21. Eden Labs, LLC. 2018. Supercritical CO₂ Extraction. <https://www.edenlabs.com/processes/co2-extraction> [accessed 29 July 2019].
22. Holmes M, Vyas JM, Steinbach W, McPartland J. 2015. Microbiological Safety Testing of Cannabis. Cannabis Safety Institute. <http://cannabissafetyinstitute.org/wp-content/uploads/2015/06/Microbiological-Safety-Testing-of-Cannabis.pdf> [accessed 29 July 2019].
23. U.S. Centers for Disease Control and Prevention. 2019. Sources of Aspergillosis. <https://www.cdc.gov/fungal/diseases/aspergillosis/causes.html> [accessed 29 July 2019].
24. Farrer DG. 2015. Technical Report: Oregon Health Authority's Process to Determine Which Types of Contaminants to Test for in Cannabis Products, and Levels for Action. <https://www.oregon.gov/oha/ph/preventionwellness/marijuana/documents/oha-8964-technical-report-marijuana-contaminant-testing.pdf> [accessed 29 July 2019].
25. Oregon Health Authority. 2019. Oregon's Framework for Regulating Marijuana Should Be Strengthened to Better Mitigate Diversion Risk and Improve Laboratory Testing. Salem, OR: Secretary of State, Oregon Audits Division. <https://sos.oregon.gov/audits/Documents/2019-04.pdf> [accessed 29 July 2019].
26. McClenney N. 2005. Laboratory detection and identification of *Aspergillus* species by microscopic observation and culture: the traditional approach. Med Mycol 43(suppl 1):S125–S128, PMID: 16110804, <https://doi.org/10.1080/13693780500052222>.
27. Upton R, Craker L, ElSohly M, Romm A, Russon E, Sexton M, eds 2013. *Cannabis Inflorescence (Cannabis spp.): Standards of Identity, Analysis and Quality Control*. Scott's Valley, CA: American Herbal Pharmacopoeia.

28. World Health Organization. 2018. Mycotoxins. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins> [accessed 29 July 2019].
29. Wuana RA, Okieimen FE. 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecol* 2011:402647, <https://doi.org/10.5402/2011/402647>.
30. Deibel C. 2019. Heavy metals testing: methods, strategies & sampling. *Cannabis Industry Journal*, 16 January 2019. https://cannabisindustryjournal.com/feature_article/heavy-metals-testing-methods-strategies-sampling/ [accessed 29 July 2019].
31. Olmedo P, Goessler W, Tanda S, Grau-Perez M, Jarmul S, Aherrera A, et al. 2018. Metal concentrations in e-cigarette liquid and aerosol samples: the contribution of metallic coils. *Environ Health Perspect* 126(2):027010, PMID: 29467105, <https://doi.org/10.1289/EHP2175>.
32. Zhao D, Navas-Acien A, Ilievski V, Slavkovich V, Olmedo P, Adria-Mora B, et al. 2019. Metal concentrations in electronic cigarette aerosol: effect of open-system and closed-system devices and power settings. *Environ Res* 174:125–134, PMID: 31071493, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.003>.
33. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2019. Minimum Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances. <https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrllist.asp> [accessed 29 July 2019].
34. Downs D. 2019. California cannabis labs are finding toxic metal in vape carts. Leafly.com, 25 January 2019. <https://www.leafly.com/news/health/california-cannabis-labs-are-finding-toxic-metal-in-vape-carts> [accessed 29 July 2019].
35. World Health Organization. 2018. Lead Poisoning and Health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health> [accessed 29 July 2019].
36. SC Labs, Inc. 2019. California Cannabis Testing 101. <https://www.sclabs.com/california/> [accessed 29 July 2019].